

HỆ THỐNG PHÂN LOẠI ĐÁ ĐÁ PHỤC VỤ CHO XÂY DỰNG CÁC CÔNG TRÌNH THỦY ĐIỆN KHU VỰC TÂY NGUYÊN

Huỳnh Văn Bình⁽¹⁾, Lê Phước Hảo⁽²⁾

(1) Công ty Tư vấn xây dựng điện 3, Tp. HCM

(2) Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM

(Bài nhận ngày 20 tháng 03 năm 2007, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 19 tháng 09 năm 2007)

TÓM TẮT: Bài báo đề xuất hệ thống phân loại đất đá cho xây dựng các công trình thủy điện khu vực Tây Nguyên, đồng thời kiến nghị áp dụng hệ thống phân loại theo mức độ phong hóa trong hầu hết các giai đoạn thiết kế và hệ thống phân loại cho công trình ngầm trong giai đoạn Thiết kế kỹ thuật - Bản vẽ thi công.

1. MỞ ĐẦU

Trong những năm gần đây, khá nhiều công trình thủy điện đã và đang được xây dựng trên khu vực Tây Nguyên nói riêng và cả nước nói chung. Do chưa có được một bảng phân loại có tính nguyên tắc thống nhất, nên ở các công trình khác nhau, các chuyên gia đưa ra sự phân loại và cách đánh giá chất lượng xây dựng của khối đá nền cũng khác nhau.

Việc nghiên cứu phân loại đất đá để phục vụ cho xây dựng các công trình thủy điện là rất quan trọng và cần thiết. Khi phân loại đúng đất đá thì mới đề xuất được phương pháp nghiên cứu và khảo sát thích hợp, đánh giá chính xác chất lượng của khối đất đá nền, từ đó đưa ra các giải pháp thiết kế và thi công thích hợp đảm bảo công trình xây dựng được hiệu quả và bền vững.

Bài báo đề xuất hệ thống phân loại đất đá phục vụ cho xây dựng các công trình thủy điện trên cơ sở hệ thống phân loại đất đá được ban hành tạm thời của Tổng Công ty điện lực Việt Nam (EVN).

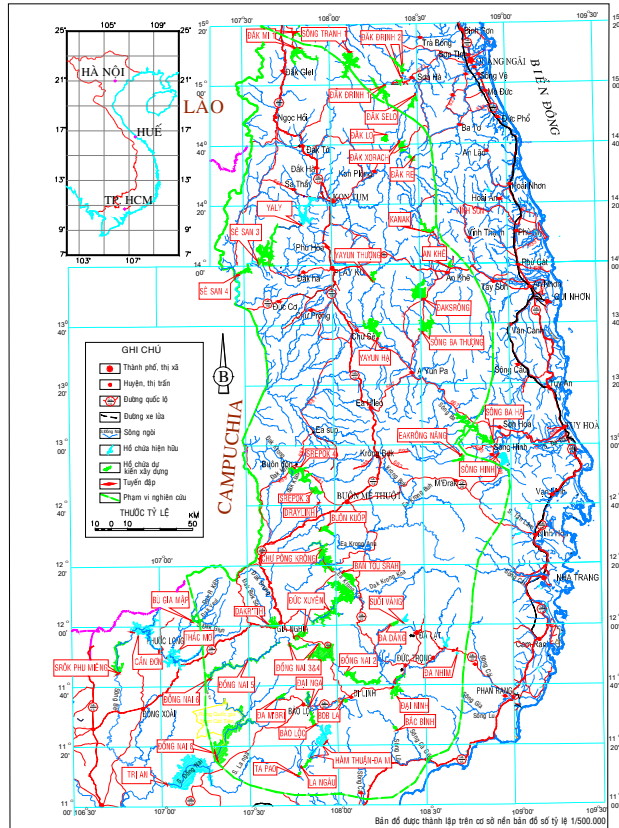
2. HỆ THỐNG PHÂN LOẠI ĐÁ ĐÁ PHỤC VỤ CHO XÂY DỰNG CÁC CÔNG TRÌNH THỦY ĐIỆN KHU VỰC TÂY NGUYÊN

2.1. Khái quát đặc điểm tự nhiên khu vực Tây Nguyên

Khí hậu của khu vực Tây Nguyên là khí hậu nhiệt đới gió mùa cao nguyên rất đặc thù và ảnh hưởng mạnh mẽ đến quá trình phong hóa của đất đá trong khu vực.

Khu vực nghiên cứu có mặt khá đầy đủ các thành tạo trầm tích, phun trào, xâm nhập và biến chất có tuổi từ Arkei đến Đệ Tứ. Các đá Bazan có tuổi $\beta_{Q_{II-IV}}$, $\beta_{N_2-Q_I}$, các đá trầm tích tuổi Jura và các đá mácma xâm nhập của phức hệ Định Quán, Đèo Cả, Cà Ná,... là phổ biến nhất.

Các công trình thủy điện trên khu vực Tây Nguyên phân bố chủ yếu trên các lưu vực sông Đồng Nai, sông Mê Kông và sông Ba (Hình 1).



Hình 1. Sơ đồ khu vực nghiên cứu

2.2. Đề xuất hệ thống phân loại đất đá theo mức độ phong hóa

Hệ thống phân loại được đề xuất dựa trên các hệ thống phân loại đất đá theo mức độ phong hóa. Các bảng phân loại đất đá theo EVN [3], Selby & Hodder [5], Viện nghiên cứu công nghiệp điện năng của Nhật (CRIEPI) [4] và Hiệp hội cơ học đá quốc tế (ISRM) [3] được tổng hợp trong Bảng 1 nhằm mục đích chuẩn xác nội dung của hệ thống phân loại hiện đang dùng trong EVN. Ký hiệu các đới đất đá vẫn giữ như trong các bảng phân loại của EVN.

Trong Bảng 1, tùy thuộc vào mức độ nứt nẻ mà đới II thường được chia thành đới IIA và IIB. Để phân loại đất đá theo mức độ phong hóa, người ta thường căn cứ vào các chỉ tiêu phân loại như: cường độ kháng nén một trục, tính thấm nước của đất đá, chỉ số đánh giá chất lượng đá (RQD), vận tốc truyền của sóng dọc (V_p),..

Tính thấm của đất đá theo độ sâu của một mặt cắt phong hóa có dạng như Hình 2. Trong đới II, nhất là IIB, tính thấm hầu như không còn thay đổi theo độ sâu.

Cường độ kháng nén một trục tức thời của đất đá theo độ sâu của một mặt cắt phong hóa có dạng như Hình 3. Quy luật chung cho thấy càng xuống sâu cường độ kháng nén của đá càng tăng và đến một độ sâu nhất định, chỉ tiêu này sẽ đạt được giá trị lớn nhất và hầu như không thay đổi.

Sử dụng giá trị RQD để đánh giá chất lượng của khối đá theo lý thuyết là rất hiệu quả. Tuy nhiên, kỹ thuật khoan ở một số công trình thủy điện hiện chưa đồng bộ và tuân thủ đúng quy

trình, nên độ tin cậy của giá trị RQD không cao. Vì thế, cần hết sức cân nhắc khi sử dụng chỉ số này.

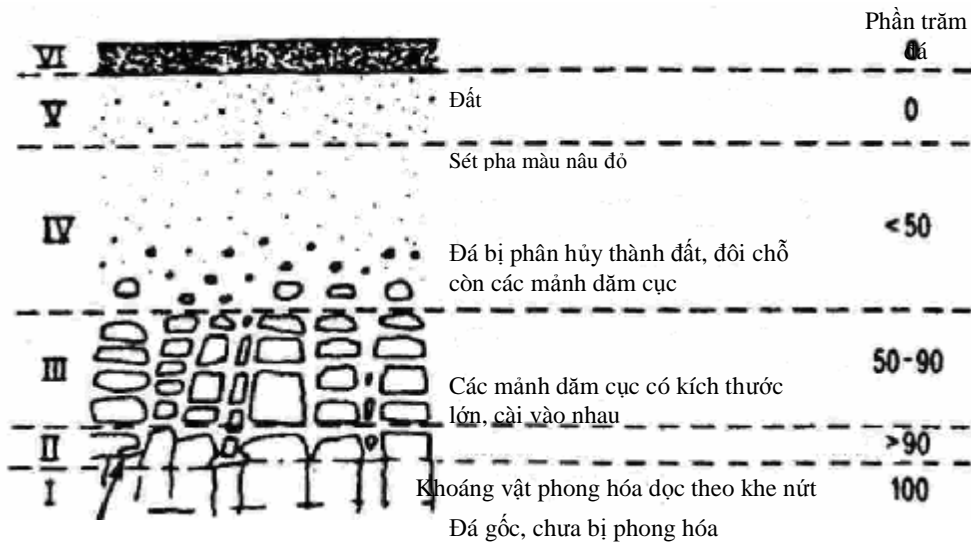
Thông số vận tốc truyền của sóng dọc V_p (km/s) cũng là chỉ tiêu quan trọng được sử dụng để phân loại đất đá. Dựa vào V_p , có thể xác định tương đối chính xác ranh giới giữa đới IA² và IB. Ngoài ra, ranh giới giữa các đới còn lại là rất khó phân biệt.

Một chỉ tiêu quan trọng khác để phân loại đất đá chưa được đề cập đó là khối lượng thể tích khô của đất đá. Nhiều kết quả thí nghiệm cho thấy khối lượng thể tích khô của đất đá tăng rất nhanh khi chuyển từ đới edQ sang đới IA. Càng xuống sâu, khối lượng thể tích khô càng tăng và hầu như không thay đổi trong đới II, đặc biệt là đới IIB.

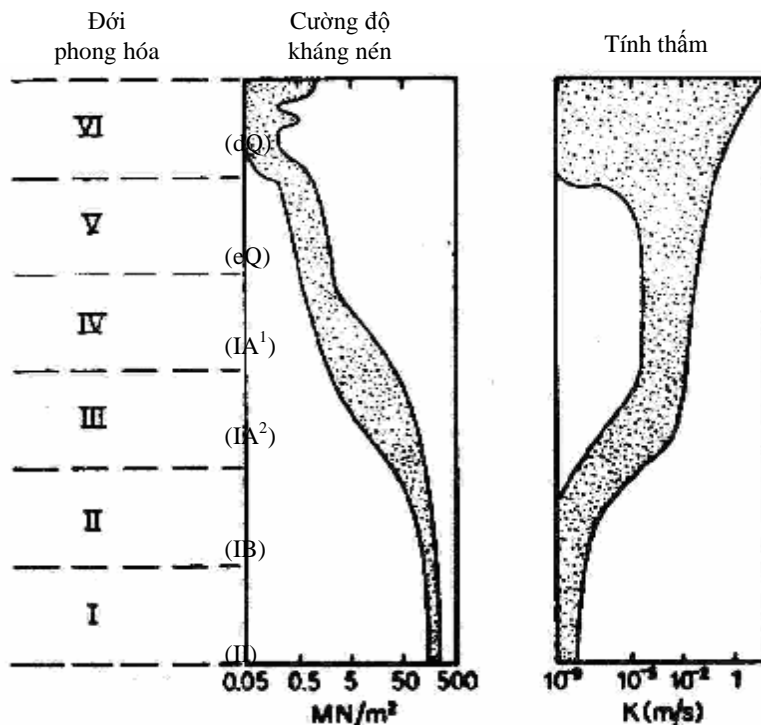
Bảng 1. Tổng hợp các Bảng phân loại đất đá theo mức độ phong hóa [3]

Ký hiệu				Đặc điểm	Mô tả
EVN	Selby	CRIEPI	ISRM		
dQ	VI	D	-	Sườn tích	Chủ yếu được tích tụ ở sườn dốc và chân sườn. Đới này thường chứa các lớp sét pha và cát pha sét lẫn rễ cây, xác động - thực vật.
eQ	V	C _L	CW	Tàn tích	Đá đã bị biến màu hoàn toàn, không ánh. Hầu hết đá đã biến thành đất hoặc dăm cục. Tỷ lệ dăm cục thường < 5%, tuy nhiên chúng vẫn còn giữ được cấu trúc của đá mẹ. Dùng xẻng đào được dễ dàng.
IA ¹	IV	C _M	HW	Phong hóa mạnh	Đại bộ phận đá bị biến màu, hầu hết fenspat chuyển thành nâu đục, các khoáng vật chứa Fe, Mg bị biến đổi thành đất sét có màu nâu. Đất chiếm > 50%, các mảnh đá phần lớn mềm bở, búa đập nhẹ các khe nứt bị tách rời, bề được bằng tay, tiếng búa đập nghe đục. Cấu trúc của đá mẹ vẫn được bảo tồn. Dùng xẻng đào được, đôi chỗ phải đào bằng xà beng.
IA ²	III	C _H	MW	Phong hóa trung bình	Đá gốc bị phong hóa và phân rã thành cục, tầng lẫn đất loại sét với hàm lượng < 50%. Đá bị nứt nẻ mạnh, vỡ vụn do các khe nứt có độ mở lớn và bị sét lấp nhét. Đây là đới trên của đá cứng, cấu trúc nguyên thủy của khối đá khá hoàn chỉnh, búa đập bình thường đá dễ bị tách rời theo các khe nứt, lõi đá cứng, tiếng búa đập nghe lục bục, không bề được bằng tay, các khoáng vật kém bền vững bị phân rã gần hết hoặc bị hóa mềm. Đào phải dùng mìn.
IB	II	B	SW	Phong hóa nhẹ	Đá bị nứt nẻ nhưng các khe nứt thường kín, không có khe nứt nào có độ mở > 1mm. Màu sắc của đá bị thay đổi nhẹ, chủ yếu là dọc theo bề mặt của khe nứt. Hay nói cách khác, bề mặt của các khe nứt thường bị bám các khoáng vật phong hóa như oxít sắt. Đây chính là dấu hiệu chính để phân biệt đới đá IB với các đới kế tiếp. Đá liền khối, cứng chắc. Tiếng búa đập nghe rõ, trong và đanh. Cường độ giảm không đáng kể so với đá tươi. Đào phải dùng mìn.
II	I	A	UW	Đá tươi	Khối đá tươi, các hạt và khoáng vật tạo đá không bị biến đổi và phong hóa. Khe nứt rất kín hoặc độ mở < 0,5mm và bề mặt khe nứt không có dấu hiệu phong

					hóa. Đá liền khối, cứng chắc. Búa đập khó vỡ, âm thanh phát ra khi dùng búa đập nghe rất đanh. Đào phải dùng mìn.
--	--	--	--	--	---



Hình 2. Mặt cắt phong hóa đầy đủ [5]



Hình 3. Mặt cắt phong hóa lý tưởng với các đặc trưng đất đá [5]

Bảng 2 được đề xuất dựa trên cơ sở bảng phân loại do EVN ban hành tháng 1/2005, với nội dung được hiệu chỉnh như phần mô tả của Bảng 1. Các chỉ tiêu phân loại nêu trên được tổng hợp trên các loại đất đá khác nhau từ các công trình thủy điện đã khảo sát nghiên cứu trên khu vực Tây Nguyên.

Bảng 2. Bảng phân loại đất đá theo mức độ phong hóa được tác giả đề xuất [3]

Ký hiệu	Tên đới	Các chỉ tiêu phân loại								Kiến nghị sử dụng và xử lý nền
		Mức độ phong hóa	Cường độ kháng nén 1 trục, kG/cm ²	V _p , km/s	RQD, %	Tính nứt nẻ	D.trọng khô, g/cm ³	Tính thấm nước	Các chỉ tiêu khác	
edQ	Sườn tàn tích	Đá gốc bị phong hóa hoàn toàn thành đất sét, á sét, lùn hoặc không lùn dăm sạn, không giữ được kiến trúc của đá mẹ, nếu có thì rất mờ nhạt.	-	< 0,5	-	-	1,13-1,34 (đất bazan)	Thấm nước yếu. K≤10 ⁻⁴ cm/s	Đất có màu xám, xám nâu, nâu vàng, nâu đỏ, ở độ ẩm thích hợp có thể ve được thành sợi. Dùng cuốc, xẻng đào dễ dàng.	- Có thể sử dụng làm nền cho đập đất đồng chất, làm vật liệu đắp đập, đắp lõi đập, sắn phủ. - Đối với nền đập đá đỏ, đập bê tông phải bóc bỏ.
							1,31-1,76 (các loại khác)			
IA ¹	Phong hóa mạnh	Phần lớn đá gốc bị phong hóa thành đất (đất chiếm > 50%), nhưng vẫn giữ được một cách rõ nét kiến trúc của đá mẹ.	-	0,5-2,0	-	-	1,49-1,79	Thấm nước yếu đến trung bình yếu. K=(1-10)10 ⁻⁴ cm/s	Có màu xám nâu, xám vàng. Các mảnh đá mềm yếu, dùng tay có thể bóp vụn hoặc bẻ gãy. Dùng xẻng đào được, đôi chỗ phải đào bằng xà beng. Dùng máy ủi, máy xúc đào dễ dàng.	- Sử dụng làm nền cho đập đất. Trộn cùng đất edQ làm vật liệu đắp đập, lõi đập, sắn phủ. - Đối với nền đập đá đỏ, đập bê tông phải bóc bỏ.

IA ²	Phong hóa trung bình	Đá gốc bị phong hóa và phân rã thành cục, tảng lẫn đất loại sét với hàm lượng < 50%. Hầu như các khoáng vật tạo đá đều bị biến đổi. Màu sắc của đá mẹ hoàn toàn thay đổi.	< 150	Rất kém cứng chắc		0	Đá bị nứt nẻ mạnh, vỡ vụn do các khe nứt có độ mở lớn và bị sét lấp nhét.	1,8-2,6	Thấm nước trung bình, khoáng biến thiên rộng. $K=(5-50)10^{-4}$ cm/s	Đá có màu xám, xám sẫm. Mảnh đá dùng tay khó bẻ, dùng búa đập dễ vỡ, tiếng búa đục, dùng cuốc chim, xà beng khó đào, dùng máy xúc, máy ủi có thể đào được, đôi khi phải kết hợp nổ mìn nhỏ.	<ul style="list-style-type: none"> - Sử dụng làm nền đập đất đồng chất, đập đá đổ thấp nhưng phải xử lý chống thấm. - Đối với nền đập đá đổ cao, đập bê tông phải bóc bỏ.
IB	Phong hóa yếu	Đá gốc bị phong hóa yếu. Các khoáng vật tạo đá dọc theo bề mặt khe nứt thường bị biến đổi hoặc bị ôxít sắt hóa, quan sát rõ bằng mắt thường. Phần nhân lõi ít hoặc không bị biến đổi, vẫn giữ được màu sắt của đá mẹ.	< 150	Rất kém cứng chắc	2,0-3,0	< 25	Đá bị nứt nẻ nhưng các khe nứt thường kín, không có khe nứt nào có độ mở > 1mm, khe nứt thường được lấp nhét bằng sét, sạn, oxít sắt, oxít mangan.	2,15-2,62	Thấm nước trung bình, khoáng biến thiên rộng, $K=10^{-2}-10^{-3}$ cm/s, q đến 0,5 l/ph, hoặc đến 50 Lugeon	Thường là đá phiến sét, phiến sét chứa than, sét than.	Như đối IA ₂
			150-300	Kém cứng chắc	2,5-3,5	25-50				Thường là đá trầm tích sét kết, bột kết, cát kết, quan sát rõ vành khoáng vật biến đổi. Tiếng búa đục, khai đào phải nổ mìn.	<ul style="list-style-type: none"> - Sử dụng làm nền đập đất, đập đá đổ, phải xử lý chống thấm; - Có thể sử dụng làm vật liệu đắp đập; - Nền đập bằng bê tông nên bóc bỏ phần mặt lớp.
			300-600	Cứng chắc	3,0-4,0	25-75				2,38-2,77	Thường là đá trầm tích, biến chất, đá macma.

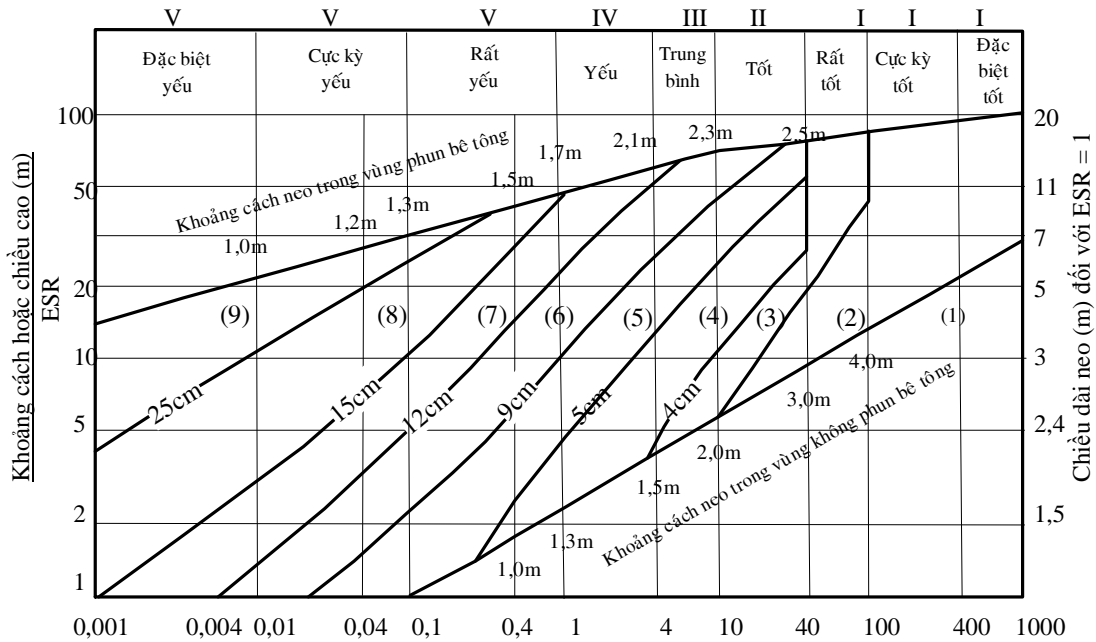
			> 600	Khá cứng chắc	3,8-4,8					Quan sát rõ vành khoáng vật bị biến đổi. Tiếng búa danh, khai đào phải nổ mìn.	đập bê tông, phải xử lý chống thấm; - Sử dụng làm vật liệu đắp đập, nghiền dăm, cát
II (IIA, IIB)	Đới đá tươi	Khối đá tươi, các hạt và khoáng vật tạo đá không bị biến đổi và phong hóa.	150-300	Kém cứng chắc	3,0-4,0	50-75	- Khe nứt rất kín hoặc độ mở < 0,5mm; - Đới IIA nứt nẻ, khe nứt thường được lấp nhét khoáng vật thứ sinh, hiếm khi là oxi sắt - Đới IIB nứt nẻ yếu. Khe nứt nhỏ và kín lấp nhét bằng khoáng vật thứ sinh.	2,32-2,78	- Đới IIA thấm nước trung bình, yếu $K=10^{-3}-10^{-5}$ cm/s, $q=0,01-0,11$ /ph = 1-10 lugeon - Đới IIB thấm nước yếu, $K \leq 10^{-4}-10^{-5}$ cm/s, $q \leq 0,01-0,05$ l/ph $\leq 1-5$ lugeon	- Các đá kém cứng chắc, thường là đá trầm tích sét kết, bột kết, cát kết, phiến sét, búa đập dễ vỡ, Tiếng búa đục. - Các đá khá cứng chắc và cứng chắc thường là đá trầm tích (cát kết thạch anh hạt nhỏ), biến chất và đá macma. Búa đập mạnh khó vỡ, tiếng búa danh. - Các đá rất cứng chắc thường là đá macma, biến chất như gabro, diaba, granit hạt nhỏ, quartzit, đá sừng.... Búa đập mạnh khó vỡ, tiếng búa rất danh, đôi khi toé lửa. Toàn bộ đá đới IIA, IIB khi đào phải nổ mìn.	- Các đá kém cứng chắc sử dụng làm nền đập đất, đập đá đổ, đập bê tông nền bóc bỏ phần mặt lớp, làm vật liệu đắp đập. - Nhóm đá khá cứng chắc, cứng chắc, rất cứng chắc sử dụng làm nền tất cả các loại đập, làm vật liệu đắp đập, nghiền dăm, cát. - Cần phải có biện pháp chống thấm. - Đới IIB, nhưng khi sử dụng làm nền các loại đập không nhất thiết phải có biện pháp xử lý chống thấm.
			300-600	Cứng chắc	3,5-4,5	50-90					
			600-1000	Khá cứng chắc	4,0-5,5	75-100					
			> 1000	Rất cứng chắc	5,1-6,1						

2.3. Đề xuất hệ thống phân loại đất đá cho các công trình ngầm

Đối với các công trình thủy điện có các hạng mục công trình được thiết kế xây dựng ngầm thì có khá nhiều phương pháp phân loại khối đá được áp dụng để thiết kế các biện pháp gia cố. Trong các phương pháp đó, phương pháp RMR (Rock Mass Rating, Bieniawski, 1989) [1] và phương pháp Q (theo Barton và nnk, 1974) [2] được đánh giá là tiên tiến nhất và được ứng dụng rộng rãi nhất. Hai phương pháp này kết hợp chặt chẽ các thông số kỹ thuật, hình học và địa chất tới giá trị định lượng chất lượng của khối đá. Đặc điểm giống nhau giữa Hệ RMR và Q xuất phát từ việc sử dụng các thông số giống nhau trong việc tính toán điểm cho chất lượng khối đá cuối cùng. Điểm khác nhau giữa chúng là các thông số giống nhau nằm trong các trường hợp đặc biệt khác nhau và việc sử dụng từng thông số riêng trong các sơ đồ khác nhau.

Do đó, sự kết hợp hai phương pháp phân loại này sẽ khắc phục được những nhược điểm của từng phương pháp và phát huy được tối đa hiệu quả của chúng.

Bảng 3 (trích từ Bảng phân loại khối đá theo RMR) được tham khảo với chỉ số Q. Tuy nhiên, hướng dẫn biện pháp khai đào và gia cố dưới đây được áp dụng đối với công trình ngầm dạng móng ngựa, bề rộng 10m. Trong trường hợp này, nên sử dụng kết quả thiên về an toàn nhất giữa hai phương pháp trên. Đối với công trình ngầm có dạng và kích thước khác, dựa vào hướng dẫn và Hình 4 (theo hệ phân loại Q) để áp dụng linh hoạt trong thực tế.



Hình 4. Các biện pháp gia cố công trình ngầm theo hệ thống phân loại Q [2]

Ghi chú: (1). Không gia cố; (2). Neo rải rác (cục bộ); (3). Neo hệ thống; (4). Neo hệ thống và phun vôi bê tông dày 4-10cm; (5). Phun bê tông trộn sợi thép, dày 5-9cm và neo; (6). Phun bê tông trộn sợi thép, dày 9-12cm và neo; (7). Phun bê tông trộn sợi thép, dày 12-15cm và neo; (8). Phun bê tông trộn sợi thép, dày > 15cm, vôi thép và neo; (9). Đổ vòm bê tông.

Bảng 3. Phân loại đất đá nền cho xây dựng các công trình ngầm [1]

Các biện pháp gia cố công trình ngầm theo phương pháp phân loại RMR (có tham khảo chỉ số Q)

Nhóm đất đá	Chỉ số RMR	Chỉ số Q	Biện pháp khai đào	Biện pháp gia cố		
				Neo đá (đường kính 20mm, phun lấp đầy)	Bê tông phun vẩy	Vì thép
I- Đá rất tốt	81-100	40-100	Đào toàn gương, bước đào 3m.	Nhìn chung là không cần gia cố, nếu thấy cần thiết có thể neo cục bộ.		
II- Đá tốt	61-80	10-40	Đào toàn gương, bước đào 1,5m. Gia cố hoàn thiện cách gương 20m.	Neo cục bộ ở vòm, dài 3m, bước 2,5m, đôi chỗ thêm lưới thép.	Dày 50mm ở vòm và những nơi yêu cầu.	Không
III- Đá trung bình	41-60	4-10	Đào ở đỉnh trước với bước đào 1,5-3m, sau đó đào mở rộng. Gia cố ngay sau mỗi đợt khoan nổ, gia cố hoàn thiện cách gương 10m.	Neo hệ thống, dài 4m, bước 1,5-2m ở vòm và tường với lưới thép ở vòm.	Dày 50-100mm ở vòm và 30mm ở tường.	Không
IV- Đá xấu	21-40	1-4	Đào ở đỉnh trước với bước đào 1,5m, sau đó đào mở rộng. Gia cố đồng thời với khai đào, gia cố hoàn thiện cách gương 10m.	Neo hệ thống, dài 4-5m, bước neo 1-1,5m ở vòm và tường với lưới thép.	Dày 100-150mm ở vòm, 100mm ở tường.	Các vì nhẹ đến trung bình với bước 1,5m ở những nơi cần thiết.
V- Đá rất xấu	20	< 1	Gương đào chia nhiều phần, đào ở đỉnh trước với bước 0,5-1,5m, sau đó đào mở rộng. Gia cố đồng thời với khai đào, có thể phải phun bê tông ngay sau khi khoan nổ.	Neo hệ thống, dài 5-6m, bước 1-1,5m ở vòm và tường với lưới thép, có khi neo cả dưới nền.	Dày 150-200mm ở vòm và 150mm ở tường, và 50mm ở gương.	Các vì trung bình đến nặng với bước 0,75m, khi cần có thể chống cả dưới nền.

3.KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Từ các kết quả nghiên cứu trên đây cho phép rút ra một số kết luận và kiến nghị sau:

- Khi áp dụng hệ thống phân loại mới (Bảng 2), cần tổng hợp từ nhiều chỉ tiêu phân loại để đạt được hiệu quả cao nhất. Nhưng khi sử dụng nhiều chỉ tiêu định lượng để phân loại, đôi khi sẽ gặp phải trường hợp kết quả phân loại theo các thông số khác nhau sẽ khác nhau. Trong trường hợp đó, phải ưu tiên cho các chỉ tiêu phân loại có mức độ tin cậy cao trước, các chỉ tiêu còn lại sẽ được tham khảo sau.

- Sử dụng các giá trị RMR và Q trên cùng một khối đất đá để phân loại cho ra kết quả khá phù hợp nhau. Do đó, khi phân loại đất đá cho đường hầm, nên kết hợp cả hai phương pháp này để khắc phục những hạn chế của chúng.

- Kiến nghị áp dụng hệ thống phân loại đất đá theo mức độ phong hóa trong hầu hết các giai đoạn thiết kế các công trình thủy điện còn trong giai đoạn Thiết kế kỹ thuật - Bản vẽ thi công nên áp dụng hệ thống phân loại kết hợp giữa hệ RMR và hệ Q cho các công trình ngầm.

THE PROPOSAL OF ROCK MASS CLASSIFICATION FOR CONSTRUCTION HYDROELECTRIC POWER PROJECTS IN TAY NGUYEN AREA

Huỳnh Văn Bình⁽¹⁾, Lê Phước Hảo⁽²⁾

(1) Power Engineering and Consulting Company No3, HCMC

(2) University of Technology, ĐHQG-HCM

ABSTRACT: *This paper proposes a rock classification system for building hydroelectric power projects in Tay Nguyen area. It is suggested that the rock classification systems according to weathering grade is applied in all designing stages. Meanwhile, rock classification systems for construction underground works is used for technical planning and technical drawing steps.*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Z.T. Bieniawski. *Engineering rock mass Classification*. (1989)
- [2]. Dr. Evert Hoek. *Rock engineering*. Updated and corrected in December, (2000).
- [3]. Huỳnh Văn Bình. Nghiên cứu đề xuất hệ thống phân loại đất đá phục vụ cho xây dựng các công trình thủy điện khu vực Tây Nguyên. Luận văn thạc sỹ, (2006).
- [4]. Japan Society of Engineering Geology. *Rock mass Classification in Japan*, (1992)
- [5]. Selby, M.J and Hodder, A. P. W. *Hillslope materials and processes*. Oxford University Press Inc, New York, 2nd Edition, (1993).