

黄石盘水库工程坝址区软弱夹层分布特征

张全

四川水发勘测设计研究有限公司，四川 成都 600200

DOI:10.61369/ME.2025070029

摘 要： 黄石盘水库工程所处恩阳河，河床多为基岩裸露，河床无强风化岩体。岩体中顺层发育软弱夹层，根据勘探钻孔统计软弱夹层数据，层厚0.3 ~ 0.5m就发育一条软弱夹层。通过钻孔取芯、孔内电视录像、声波测试等资料综合分析，查明软弱夹层空间分布范围、高程、性状、特征等情况。将分布范围大，对坝基抗滑稳定有影响的软弱夹层都绘制成软弱夹层平面分布图。软弱夹层平面分布图在设计进行坝基深层抗滑稳定性计算提供了更为详细、准确的地质依据。设计根据地质提供的软弱夹层参数，在闸室下游布置C20膨胀混凝土齿槽，齿槽宽6 ~ 18m、从左至右埋深12.9m ~ 15.0m，截断底部的软弱夹层Nj2、Nj8。

关 键 词： 软弱夹层特征及其平面分布图；抗滑稳定

Distribution Characteristics of Weak Interlayer in Dam Site Area of Huangshipan Reservoir

Zhang Quan

Sichuan Water Development Investigation, Design & Research Co., Ltd., Chengdu, Sichuan 600200

Abstract： The Huangshipan Reservoir Project is located in the EnYang River. The riverbed is mostly exposed to bedrock, and there is no strongly weathered rock mass in the riverbed. The weak interlayer is developed in the rock mass. According to the statistical data of the weak interlayer in the exploration borehole, a weak interlayer is developed in the thickness of 0.3 ~ 0.5 m. Through the comprehensive analysis of borehole coring, borehole TV video, acoustic test and other data, the spatial distribution range, elevation, characteristics and characteristics of weak interlayer are found out. The weak interlayers with large distribution range and influence on the anti-sliding stability of dam foundation are drawn into a plane distribution map of weak interlayers. The plane distribution map of weak interlayer provides a more detailed and accurate geological basis for the design of deep anti-sliding stability calculation of dam foundation. According to the parameters of weak interlayer provided by geology, the C20 expansive concrete tooth groove is arranged in the downstream of the gate chamber. The tooth groove width is 6 ~ 18m, and the buried depth is 12.9m ~ 15.0m from left to right. The weak interlayer Nj2 and Nj8 at the bottom are cut off.

Keywords： characteristics of weak interlayer and its plane distribution map; stability against sliding

黄石盘水库为大（2）型防洪控制性水利工程，以防洪为主，兼顾发电、改善下游供水条件^[1]。枢纽工程主要由砼重力坝、电站厂房、鱼道等建筑物组成。水库正常蓄水位372.0m，总库容11497万 m³。最大坝高39.8m。

一、勘察工作概况

本工程勘察阶段共布置勘探钻孔2357.9m/49孔，勘探钻孔采用SDB(单动双管钻具)半合管式取芯钻具，破碎岩体和软弱夹层采取率大于95%；完成28个钻孔全景成像和36个钻孔孔内声波测试。

二、地形地貌

坝址区属丘陵地貌。河床高程340.2 ~ 341.9m。左岸山顶为Ⅲ级阶地平台，地形平坦，山顶高程389.3 ~ 394.3m。右岸山顶董家梁高程约470m，与河床相对高差130m，山坡呈阶梯状，陡坎高12 ~ 35m。

作者简介：张全（1978.11-），女，四川资阳人，高级工程师，本科，主要从事水利水电工程地质勘察工作，408430588@qq.com。

三、地层岩性

坝址区出露地层为白垩系下统苍溪组（K₁c）。根据岩体工程地质特征将坝址区岩体分为 K₁c^① ~ K₁c^⑤五个工区亚层，单数为砂岩，双数为粉砂质泥岩。河床出露岩体为 K₁c^③之弱风化砂岩，无强风化岩体；水工建筑物基础主要置于该层的弱风化砂岩上。

室内试验成果：强风化砂岩饱和抗压强度平均值为 4.3MPa，属极软岩；弱风化砂岩饱和抗压强度平均值为 25.7MPa，为较软岩；新鲜砂岩饱和和新鲜砾岩抗压强度平均值分别为 44.74MPa、34.35MPa，为坚硬岩。工区第一层粉砂质泥岩，新鲜岩体饱和抗压强度平均值为 9.85MPa，为软岩。工区第二层新鲜泥质粉砂岩饱和抗压强度平均值为 17.8MPa，为较软岩。工区第三层新鲜泥质砂岩透镜体饱和抗压强度平均值为 8.20MPa，为软岩；含泥砾砂岩透镜体其新鲜饱和抗压强度平均值为 18.65MPa，为较软岩。

四、地质构造

坝址位于恩阳向斜的 NW 翼，为单斜构造。坝区构造简单，未发现断层构造。根据钻孔资料计算岩层产状为 N53° ~ 68° E/SE ∠ 2° ~ 3°，缓倾下游偏左岸。

五、软弱夹层

（一）软弱夹层类型

本工程勘探钻孔揭示 4 种软弱夹层类型：泥型夹层（Nj）、泥夹岩屑型（Rn）、岩屑夹泥型（Rx）、岩块岩屑型（Rk）。

通过勘探钻孔取芯确定软弱夹层 71 条。其中泥型夹层（Nj）10 条（含局部泥型），占 14.1%；泥夹岩屑型（Rn）夹层 12 条，占 16.9%；岩屑夹泥型（Rx）夹层 21 条，占 29.6%；岩块岩屑型（Rk）夹层 28 条，占 39.4%。软弱夹层主要发育在第二层的粉砂质泥岩和第三层的砂岩中（表 1）。

坝址各工区分层发育的软弱夹层条数及类型简表

表 1

工区层	地层代号	软弱夹层类型及编号				夹层条数
		泥型（Nj）10 条	泥夹岩屑（Rn）12 条	岩屑夹泥（Rx）21	岩块岩屑（Rk）28	总计 71 条
第五层	K ₁ c ^⑤	/	/	/	Rk ^{⑤-1} ~ Rk ^{⑤-2}	2
第四层	K ₁ c ^④	/	/	Rx ^{④-1}	/	1
第三层	K ₁ c ^③	Nj ³ 、Nj ² 、Nj ⁹ 、Nj ¹⁰	Rn ^{③-1} ~ Rn ^{③-3}	Rx ^{③-1} ~ Rx ^{③-12}	Rk ^{③-1} ~ Rk ^{③-10}	27
第二层	K ₁ c ^②	Nj ¹ 、Nj ⁴ 、Nj ⁵ 、Nj ⁶ 、Nj ⁷ 、Nj ⁸	Rn ^{②-1} ~ Rn ^{②-9}	Rx ^{②-1} ~ Rx ^{②-3}	Rk ^{②-1} ~ Rk ^{②-18}	37
第一层	K ₁ c ^①	/	/	Rx ^{①-1} ~ Rx ^{①-5}	/	4

（二）软弱夹层物质组成

1. 泥化夹层（Nj）

发育在粉砂质泥岩或泥质砂岩等软岩与砂岩接触面，其厚 0.03 ~ 0.10m，黏土呈可塑 ~ 软塑状，为软岩挤压后在地下水长期作用下软化泥化的结果。试验成果：黏粒含量 40 ~ 50%，岩屑含量 50 ~ 60%；岩屑为粉砂质泥岩，呈次棱角状，局部可见擦痕、镜面，粒径 1 ~ 5mm。

2. 泥夹岩屑型（Rn）

主要发育在岩层接触面和软岩内部层面，其厚 0.03 ~ 0.07m，为粉砂质泥岩在地下水长期作用下软化泥化的结果。试验成果：黏粒含量为 10.92 ~ 19.72%、呈可塑 ~ 软塑状，岩屑含量 70 ~ 90%；岩屑为粉砂质泥岩，呈次棱角状，局部见擦痕、镜面，粒径 1 ~ 20mm。

3. 岩屑夹泥型（Rx）

主要为砂岩与粉砂质泥岩、泥质粉砂岩中的破碎带，在泥质砂岩层间发育，泥质含量较少，其厚 0.10 ~ 0.20m；岩屑主要为灰色泥岩、紫红色 ~ 棕红色粉砂质泥岩岩屑，呈为次棱角状，可见擦痕、镜面，粒径 2 ~ 50mm，含量约 90%。室内试验成果：黏粒含量为 9.0%，其余为岩屑。

4. 岩块岩屑型（Rk）

以透镜状含泥条带砂岩或破碎粉砂质泥岩为主，泥质含量较少，含泥条带砂岩手握即散。

5. 软岩夹层空间分布特征

为进一步查明软弱夹层、软岩夹层的分布范围及其性状特

征，结合水工建筑物布置，在坝基持力层影响范围内确定了 Nj2 为坝基底部的控制性结构面。根据钻孔取芯揭示 Nj2 在同一个平面上有多个不同软弱夹层类型，其分布范围见图 1。在水工建筑物持力层影响范围内的，有多个钻孔揭示同一条软弱夹层有多种夹层类型组成，其分布范围较大、性状差的软弱夹层如 Nj1、Nj2、Rx③-2 等均做了范围分布图。

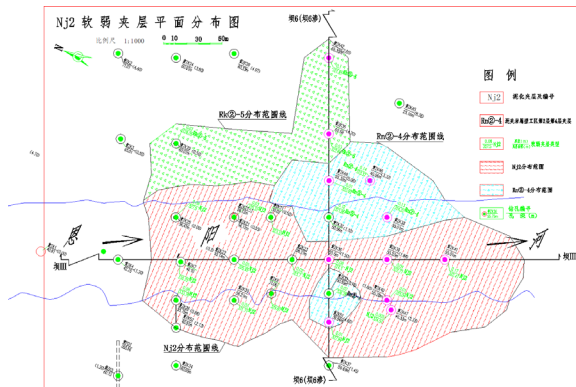


图 1

综合分析所有钻孔资料：坝址区软弱夹层极为发育，层厚 0.3 ~ 0.5m 就发育一条软弱夹层；共统计 180 多条纵横交错的软弱夹层全部在坝区的纵横剖面图上顺接并延伸。在坝轴线（坝 6）钻孔揭示的软弱夹层发育在 K₁c^③ 层厚层砂岩和 K₁c^② 层粉砂质泥岩中。其中 K₁c^③ 层共有 11 条软弱夹层，K₁c^② 层有 21 条软弱夹层。

多个钻孔揭示的软弱夹层有 Nj1、Nj2 和 Rn②-3，钻孔数

为13~24个；其他软弱夹层仅2~8个钻孔有揭示。①Nj1泥化夹层共有18个钻孔揭示，包含Nj、Rn、Rx、Rk等4种类型，在坝轴线附近主要是泥化夹层。②Nj2泥化夹层共有24个钻孔揭示，主要为Nj、Rn、Rk；钻孔黄ZK49、黄ZK32~ZK33、黄KZ38揭示为Rn②-4；黄ZK35揭示为Rk②-5；黄ZK51、黄ZK36、黄ZK39~黄ZK41、黄ZK47等揭示为Nj2；黄ZK37揭示为砂岩和粉砂质泥岩的突变接触面，且接触面岩体完整。③Rn②-3共有13个钻孔揭示，组成类型主要为Rn、Rk，坝轴线附近主要分布Rn。

在软弱夹层平面空间分布图上标注每一条夹层的分布范围、高程、厚度、不同性状特征的夹层具体分布范围等详细信息。为设计进行坝基抗滑稳定计算、建模分析提供较为详细准确的依据。

六、抗滑稳定问题

构成坝基底滑面的结构面主要由软弱结构面、缓倾卸荷裂隙构成^[2]。根据软弱夹层及长大裂隙的分布特征与大坝枢纽建筑物关系，对坝基抗滑稳定相关的浅层滑面、深层控制性软弱结构面主要如下。

①坝基下埋深较浅、空间连续、（部分）泥化的Nj⁹、Nj¹⁰、Nj¹¹、Nj⁸等软弱夹层。发育在建基面高程336.0m以上的软弱夹层主要有：Nj⁹、Rn^{③-5}、Rx^{③-11}等。基础开挖时均已揭示，并全部挖除。

②埋深较深且为控制性软弱夹层Nj²~Rn^{②-4}（为同一条软弱夹层），发育在K_{1c}^④层砂岩和K_{1c}^②层粉砂质泥岩接触部位。

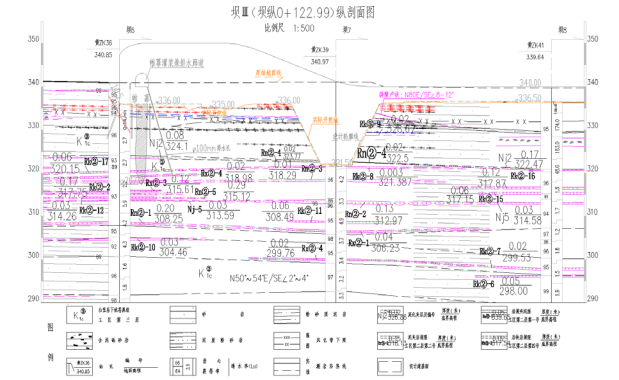


图2

根据地质提供资料岩体物理力学建议值，设计在坝趾处设深齿槽，同时提高坝基岩体的抗剪强度和增加尾岩抗力。闸室下游基础下布置C20膨胀砼齿槽，齿槽宽6~18m，底面高程从右岸到左岸323.5~322.5m，截断底部的Nj₂、Nj₈和表层水平裂隙和卸荷裂隙，同时置换混凝土也清除了坝趾出口范围的切割裂隙。以河床纵断面坝Ⅲ（坝纵0+122.99）上游抗滑齿槽截图，见图2。

软弱夹层在空间上沿层面追踪发育，受岩体的矿物成分、风化程度、地下水等影响大^[3]。根据Nj2在齿槽开挖揭示：该夹层沿着砂岩和粉砂质泥岩接触界面顺层发育、整个接触面波状起伏；夹层主要表现Nj型，其次为Rn或Rx型，到岸坡则主要表现出清晰的岩体层面突变接触关系，无泥化迹象。因此对于本工程而言，地下水对软弱夹层厚度、性状、特征等影响最大，未见地下水明显出露的部位夹层厚度3~5cm为主，而地下水活动部位夹层厚度则多以8~15cm为主，局部达到20cm以上。

七、结论

本工程施工揭示的软弱夹层特征与前期勘察成果基本吻合。软弱夹层在空间上主要发育在岩体层面，不同岩体接触面，厚度变化较大、性状特征、类型也随之变化；多个钻孔揭示同一条软弱夹层其厚度、类型、延伸范围等不同。开挖揭示Nj2在不同坝段不同类型及特征也证实了同一条软弱夹层其类型不是一成不变的，为多种夹层类型的组合、且厚度不一。在软弱夹层埋深大致一致的情况下，地下水活动强烈的部位，其夹层厚度更厚、性状更差，泥质含量增多等特征。因此，对于本工程而言，软弱夹层埋深大致相当的情况下，地下水活动强烈程度对软弱夹层的厚度、性状、类型影响较大。软弱夹层空间分布图，在空间上标注了软弱夹层的性状、特征，为设计进行坝基深层抗滑稳定性计算提供了准确、详细的地质依据。

参考文献

[1] 杨鹏, 吴晓鹏, 胡秋越. 黄石盘水库坝址区Nj2软弱夹层成因分析[J]. 水科学与工程, 2023, (05): 84-86. DOI: 10.19733/j.cnki.1672-9900.2023.05.25.
[2] 张省身. 东台子水库玄武岩软弱夹层抗剪强度试验研究[J]. 内蒙古水利, 2024, (08): 72-73.
[3] 李锋, 刘海洋, 唐万金. 青峪口水库软弱夹层的分布与工程特性研究[J]. 河南科技, 2025, 52(01): 44-50. DOI: 10.19968/j.cnki.hnkj.1003-5168.2025.01.008.