

# 水工隧洞技術規範及設計標準

## ★水電站的水工隧洞★

蘇聯電站部裝修工程生產技術管理局制訂  
蘇聯電站部裝修工程生產技術管理局批准  
(1950年7月5日第86號決議)

中央燃料工業部水力發電建設總局編譯室翻譯

燃料工業出版社

## 原出版者的話

水電站水工隧洞之技術規範及設計標準是在1948—1950年由以Е. Е. 威捷聶耶夫爲名的全蘇水工科學研究院(ВНИИГ)莫斯科區隧洞組所製訂的。

編製此技術規範及設計標準的爲：一級科學工作者技術科學碩士 Г. Г. 朱拉保夫(Зурабов)、А. М. 馬楚爾(Мазур)及 О. Е. 浦卡耶娃(Бугаева)。

技術規範及設計標準的草案已經過全蘇水工科學研究院學術委員會、水力發電建設總局及電站部裝修工程生產技術管理局審查。

在最後校編技術規範及設計標準時，又參考了對同一名稱的蘇聯國家標準草案方面的意見及批評，這些意見和批評都是電站部由蘇聯農業部、俄羅斯蘇維埃聯邦社會主義共和國公用事業部，機器製造企業建築部、水電設計局、脫皮里斯水電建設科學研究院、水力發電設計公司及其脫皮里斯分公司得到的。

# 目 錄

|                                        |    |
|----------------------------------------|----|
| 前言 .....                               | 3  |
| 1. 技術規範及設計標準的適用範圍 .....                | 4  |
| 2. 分類 .....                            | 5  |
| 3. 隧洞型式的選擇 .....                       | 6  |
| 4. 隧洞定線 .....                          | 7  |
| 5. 橫斷面型式 .....                         | 9  |
| 6. 隧洞橫斷面尺寸及其高程位置 .....                 | 11 |
| 7. 材料 .....                            | 15 |
| 8. 隧洞襯砌 .....                          | 17 |
| 9. 對隧洞運用上的一般結構要求 .....                 | 20 |
| 10. 作用於隧洞襯砌上的載荷 .....                  | 20 |
| 11. 隧洞襯砌強度計算 .....                     | 23 |
| 附錄 1 介紹引水隧洞及尾水隧洞面尺寸的技術經濟計算<br>方法 ..... | 27 |
| 附錄 2 山石壓力數值的近似判斷 .....                 | 31 |
| 附錄 3 圓形隧洞襯砌的靜力計算方法 .....               | 36 |
| 附錄 4 介紹馬蹄形隧洞襯砌的靜力計算方法 .....            | 46 |

## 前 言

水工隧洞技術規範及設計標準在1941年曾以B. E. 威捷聶耶夫爲名的全蘇水工科學研究院初次出版，初版中僅包括適用於水電站系統中的水路式隧洞。

技術規範及設計標準出版以後，在蘇聯曾建成了許多無論在規模上或在結構及施工方法上很出色的水工隧洞。

本技術規範及設計標準的再版，是以全蘇水工科學研究院及其他機構中進行的許多勘察工作的資料和現代隧洞的設計資料爲基礎，同時考慮了來自各施工部門，設計機構及勘察部門的希望，意見和補充加以修正的。

本版中蒐集了不僅有關水路式隧洞的各種設計問題，並且包括了適用於水電站系統中所有一般的隧洞工程。此外，技術規範和設計標準中的大部分還能在設計灌溉及供水用的其他種類水工隧洞時廣泛採用。

技術規範和設計標準中的計算一章已特加修正。重點是放在隧洞技術經濟計算及靜力計算的新方法上。

在使用本技術規範及設計標準過程中把可能提出的意見和建議請寄到電站部裝修工程生產技術管理局。地址：莫斯科中國大街七號。

## 1. 技術規範及設計標準的適用範圍

§ 1. 本技術規範及設計標準適用於設計水電站各種水工隧洞；就是在水電站建築和運行時所利用的縱面坡降不超過 0.10 之地下水道。

本技術規範及設計標準不適用於設計豎井和斜井以及尚未經過實驗階段的隧洞，如有預壓襯砌面的隧洞，用壓入法修建的隧洞等工程。

附註：本技術規範及設計標準除§ 24—28, 55—36 及附錄 1 以外，尙可在設計供水及灌溉用的水工隧洞時採用。

§ 2. 本技術規範及設計標準適用於初步設計，技術設計及施工詳圖各階段。

§ 3. 本技術規範及設計標準按各個設計問題研究的程度區分如下：

a) 在設計時必須遵守的技術規範及設計標準；僅在得到批准本技術規範及設計標準的機關同意後，才能不遵照其執行。在本書中這些必須遵照的技術規範及設計標準用大號字排印，在每一節(§)首行，左邊劃有一條垂直線，並經常在這些節段中用「應當」，「必須」，「茲規定」及其他類似的字樣。

6) 在設計時被介紹採用的技術規範及設計標準；如不遵守它們時，可以不經過批准本技術規範及設計標準機關的同意，但有個條件，就是所有變更處都須按照規定的辦法提出論證；本書中亦以大號字鉛印，但無垂直線，在這種條文中

經常用〔茲介紹採用〕的字樣。

б)不規定必須和諮詢性質的技術規範及設計標準在本書中用小號字排印，經常用〔希望〕，〔可以〕及其他類似的字樣（本書未以上述方法排印——編者）。

## 2. 分 類

### § 4. 水電站水工隧洞依據用途分爲：

а)引水隧洞爲將水引至水電站建築物的廠房樞紐區及影響工作水頭大小的隧洞，或爲同一目的用的水路（明渠、管道）的組成部分；

б)尾水隧洞爲將水從水電站排至下游部的隧洞，或爲同一目的而用的水路（明渠、管道）的一個組成部分；

в)透平隧洞（水平或縱坡降小於0.10的地下水道段），就是將水從有壓前池或平水井引至水電站廠房的隧洞；

г)連接隧洞爲連接蓄水池（水庫、前池）和流水道用的隧洞，或爲同一目的而用的水路（明渠、管道）的一個組成部分；

д)排洪隧洞爲單獨或和其他水路（明渠、管道）一起作爲從溢洪道和其他排洩水電站上游部、水庫、水路及有壓前池中餘水用的工程建築物，或作爲這些蓄水池和水路放空用的工程建築物；

е)施工隧洞爲在施工時或水工建築物（壩、水電站、廠房等）拆修時作爲排洩河川流量的隧洞；

ж)綜合使用隧洞爲在其運用的各個不同階段中預定作

爲本節上述各項目的而用的隧洞。

§ 5. 按投資數區分水工隧洞的等級，須遵照蘇聯國家標準3315-46 [按照投資數水工建築物分類]，並符合下列各指示：

a) 引水隧洞、尾水隧洞、透平隧洞、連接隧洞、及排洪隧洞、以及包括在隧洞中自由放置管道的隧洞，皆屬於主要的固定水工建築物；

6) 修理水工建築物時，用作放空水庫和冲刷沉積在水庫中泥沙用的隧洞，屬於輔助的固定水工建築物；

b) 僅作爲在水工建築物施工時放水用而以後不再利用的施工隧洞，應屬於輔助的水工建築物。

附註：1. 利用隧洞同時爲了幾個目的，其基建投資等級按上一級規定。

2. 對國民經濟有重要意義的一級水工隧洞提出特別的要求時，可以編製專用的技術規範和設計標準，這些規範和設計標準將由對該設計有批准權的機關批准。

### 3. 隧洞型式的選擇

§ 6. 水電站水工隧洞依據工作情況分爲：

a) 有壓隧洞：在充滿水的狀態下工作；

6) 無壓隧洞：在部分充滿水的狀態下工作。

無壓引水隧洞又分爲：

a) 非自動調節隧洞：沿隧洞路線或在有壓前池中有限制水位昇高的排水建築物。

6) 自動調節隧洞：沿隧洞路線或在有壓前池中無限制水位昇高的排水建築物。

附註：除了上述的各種隧洞型式外還能採用在隧洞中自由放置管道的隧洞。

§ 7. 選擇隧洞的型式必須根據隧洞的用途和工作情況以及隧洞沿線的工程地質條件。

§ 8. 如按工作條件，隧洞應為有壓及無壓的，而型式的選擇，則必須按工程地質條件，隧洞鑲護淨力計算工作，發電量及施工工作量進行這兩個可能方案的技術經濟比較。

在個別情況下，可以在同一隧洞的全長中採用有壓和無壓段，但無論在任何條件下不容許在同一段內，採用忽為有壓忽為無壓的隧洞工作方式。

#### 4. 隧洞定線

§ 9. 隧洞路線必須用各種可能方案的技術經濟比較決定，選擇隧洞線，以及開挖地方和輔助巷道地點等方案，應按照能佈置隧洞路線及通向隧洞路線地區的工程地質勘查和地形測量的資料進行。

§ 10. 隧洞路線可介紹設計成直線式。採用非直線式隧洞路線，是由於樞紐建築物佈置要求所致，以及因為這種設計有使用開通平硐與豎井法的可能性，從而對開挖補充工作面也就容易了，並可避免在不良的工程地質條件下掘進隧洞及防止使隧洞佈置得距地表太近 (§ 12)。

§ 11. 選擇隧洞路線迴轉處的佈置和數目，迴轉角度以及彎曲半徑，必須進行各個路線方案的技術經濟比較。並且彎曲半徑不應小於隧洞寬度的 5 倍。

§ 12. 設計隧洞路線應當或者避免對隧洞工程條件非常不良的地段（過度的山石壓力，大量土壤水流及壓力，滑動現象的可能性，隧洞路線太接近地表及其他），或者無論是選擇隧洞結構或其建造方法時，應專門地考慮這些條件。

§ 13. 隧洞門式構架地點的選定：

a) 當引水隧洞及尾水隧洞水路路線上沒有其他型式的輸水道時，則根據接連隧洞的水电站樞紐及引水樞紐建築物所採取的佈置方式；

6) 當引水隧洞及尾水隧洞水路路線上有其他型式輸水道（明渠、管道），以及在隧洞中自由放置管道的隧洞時，則在有良好的地形和工程地質條件及有組織與進行施工便利條件的隧洞路線處，但必須隣近隧洞的輸水道每公尺造價與每公尺隧洞造價相近似，假如改變開挖佈置的地點因而門式構架造價也變更很大，則須按各方案技術經濟的比較決定；

Б) 在排洪隧洞及施工隧洞中，應按照隧洞水力情況，根據隧洞與上下游部水力和結構的接合條件決定。

§ 14. 施工隧洞長度應按照最小限度設計，並且應和將建築的水工建築物有一定的距離，以便作為這些水工建築物基礎的岩石，在隧洞掘進時不因受爆炸影響而降低質量。

附註：選擇施工隧洞路線時，應當避免工程建築物附近受沖刷的危險，基礎受侵蝕及圍堰土壤加固的必要。

§ 15. 施工隧洞路線彎曲半徑的選擇，應當儘量大些，為了避免水流自由表面形成較大的橫向坡降，彎曲半徑的數值不得小於建築落差高度的 15 倍。

在施工隧洞的起迄點處必須建有直線段。

§ 16. 流速大的排洪隧洞（10 公尺/秒以上），為避免

折斷流線和在曲線內邊造成真空現象，路線在平面上之彎曲半徑必須根據驗算隧洞工作水力條件確定。

## 5. 橫 斷 面 型 式

§ 17. 有壓及無壓水工隧洞橫斷面型式之選擇(隧洞口外形)，必須根據下列條件適當地分析各種外形：

a) 隧洞工作水力條件(有壓或無壓非自動調節的或自動調節的及其他等)；

б) 岩床工程地質條件及襯砌工作靜力計算條件；

в) 隧洞橫斷面形尺寸；

г) 施工方法。

§ 18. 根據山石壓力，可介紹採用下列各無壓隧洞橫斷面形(圖1)：

橫斷面形 I ( $I_1, I_2$ )，是在施於襯砌上山石壓力不大的密實和堅硬岩石中掘進隧洞時採用；

橫斷面形 II ( $II_1, II_2$ )，是在施於襯砌上只有不大的垂直山石壓力而沒有側壓力的岩石中掘進隧洞時採用。

橫斷面形 III ( $III_1, III_2$ )，是在作用襯砌上有大垂直山石壓力和不大側壓力的岩石中掘進隧洞時採用。

橫斷面形 IV ( $IV_1, IV_2$ )，是在施於襯砌上有大垂直壓力和側壓力的岩石中掘進隧洞時採用，以及在有浮托力的岩石中採用。

圓形橫斷面是在土壤水壓力很大及用閘門操作時採用最為相宜。

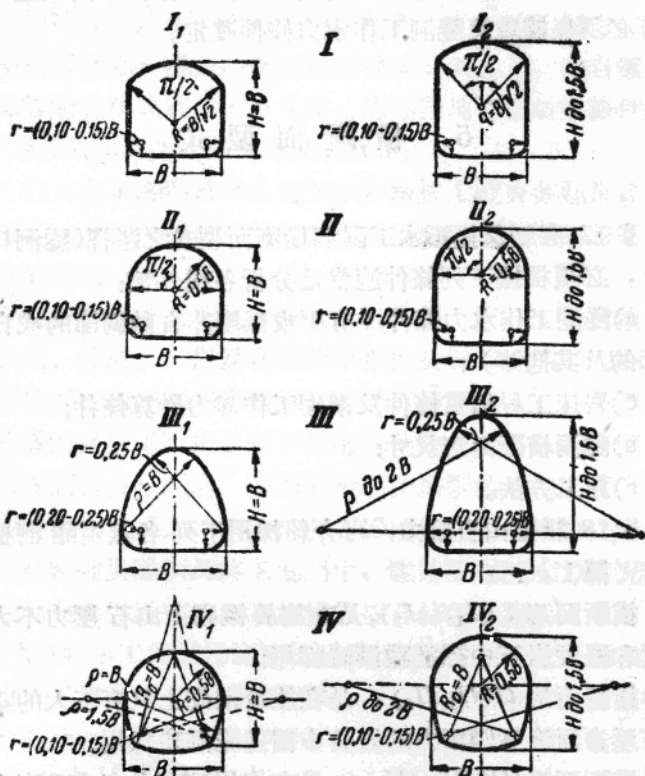


圖1 無壓隧洞橫斷面形

橫斷面形  $I_1, II_1, III_1$ , 及  $IV_1$  是在隧洞中水位變化不太大時採用; 橫斷面形  $I_2, II_2, III_2$ , 及  $IV_2$  是在隧洞中水位變化大時採用。

§ 19. 如果無山石壓力或其壓力很小時, 可採用圓形橫斷面的壓力隧洞。當低壓隧洞中在斷面中心以上的水壓不超

過隧洞的三倍高度時，可按照本技術規範及設計標準§ 18，採用I—IV 橫斷面形。

在山石壓力數值很大時壓力隧洞橫斷面形的選擇應當作適當的分析後決定。

§ 20. 有裝置管道在內的隧洞，其橫斷面形的採用可遵照本技術規範及設計標準 § 18。

## 6. 隧洞橫斷面尺寸及其高程位置

### A. 引水隧洞與尾水隧洞

§ 21. 圓形橫斷面隧洞之內徑不得小於 1.8 公尺，非圓形橫斷面隧洞，其橫斷面高度不得小於 1.8 公尺，寬度不得小於 1.5 公尺。

附註：當有適當的論據時，始可使隧洞寬度小於 1.5 公尺。

§ 22. 隧洞橫斷面尺寸及其高程位置，應根據用技術經濟計算規定的該隧洞水力坡降與流水斷面合理比值構成的過水能力確定。因此，橫斷面的尺寸在任何條件下不應當小於本技術規範及設計標準 § 21 所規定的。

§ 23. 在個別情況下如有適當的論據，容許按照建築物佈置及地形條件規定的起迄點高程設計引水隧洞。

§ 24. 水電站引水隧洞及尾水隧洞橫斷面形尺寸之技術經濟計算，是包括算定適合隧洞年度費用及每年隧洞內因摩擦力和局部阻力而損失電能價值最低總和的最經濟斷面。

若因改變設計隧洞尺寸而變更與其隣接的水電站其他建築物時，在這種情況下進行技術經濟計算，必須同樣地計算與隧洞隣接工程的年度費用。

附註：1. 與隧洞隣接工程的總造價如不超過設計隧洞造價的10%時，可不計算其價值。

2. 如由於排水而引起的能量損失，若其價值不超過總損失價值的10%時，可不計算。

§ 25. 在初步設計階段中，引水隧洞及尾水隧洞橫斷面尺寸的技術經濟計算，如不因隧洞尺寸改變而引起變更其隣近的其他工程造價時，可容許按附錄1所載之簡化法進行。

§ 26. 用技術經濟計算法求得的無壓引水隧洞橫斷面尺寸及其坡降應用下列各法校對：

- a) 保證水電站所要求的容量；
- 6) 在水流進出隧洞最不利的條件下能通過最大流量；
- Б) 水電站減負荷及有壓前池中形成高浪時，水流能無頓挫地暢通。

附註：1. 在特殊情況下，如利用水庫上層容積作調解時，希望繪製隧洞內自由水面曲線，視其不均衡情況檢查隧洞的尺寸。

2. 在特別重要的隧洞中，可按變量流進行計算隧洞。

§ 27. 用技術經濟計算法求得的無壓尾水隧洞橫斷面尺寸及其坡降，應在隧洞出口處至最高水位時檢查通過水電站的最大流量。

§ 28. 用技術經濟計算法求得的有壓隧洞橫斷面尺寸應檢查能保證水電站要求的容量，並對佈置在引水口和平水塔之間的隧洞及平水塔中水位的漲落按變量流檢查。

§ 29. 無壓非自動調節隧洞及通過同類岩石長度一公里以內有壓隧洞的橫斷面形，斷面尺寸及底面坡降，按其全長可採用固定值。

§ 30. 通過同類岩石，長度在一公里以內的無壓自動調節隧洞，可沿其全長採用：

a, 橫斷面之寬及高為常數或為漸變的階梯;

6, 底面坡降為常數。

§ 31. 若沿隧洞路線工程地質條件變換很大, 則隧洞必須分成若干段, 在這些地段上岩石的性質及有壓隧洞內壓力的大小, 其變化應在最小限度內。其中在每一段上的隧洞橫斷面形及其尺寸和底面坡降都應分別計算。

§ 32. 在縱剖面圖上, 無壓自動調節隧洞之拱頂線沿隧洞全長或當有壓前池至最高水位時, 在隧洞中迴水曲線延長範圍內, 應採用水平的。

§ 33. 在無壓隧洞內為避免其卡水, 水平面以上的空間高度若為定量流時, 不得小於隧洞高的0.15公分, 若須向此空間輸入空氣時, 則不得小於40公分。

附註: 要減少本節上述的數值, 僅在有適當的論證後始可, 若為變量流時, 上述餘量可減低1倍。

§ 34. 有壓隧洞高程位置之規定, 應配合各種不利條件計算, 其中包括發生在隧洞—平水塔—透平輸水管系統中的變量流在內, 這樣沿隧洞全長的拱頂上, 若為一級與二級隧洞時, 故壓力餘量不得小於2.0公尺, 其他各級隧洞不得小於1.5公尺。

## B. 透平隧洞

§ 35. 規定透平隧洞橫斷面尺寸, 應按照引水隧洞的技術經濟計算進行, 用這種方法求出的橫斷面尺寸, 須用水電站透平機增大或減小負荷時發生的變量流作檢查。

## B. 連接隧洞

§ 36. 影響到水電站工作水頭數值的連接隧洞, 其高程

位置及橫斷面尺寸之規定，應按照引水隧洞的技術經濟計算進行。

§ 37. 不影響水電站工作水頭數值的連接隧洞，其高程位置及橫斷面尺寸之規定，須以進行隧洞工程最小投資為技術經濟計算條件。

## Г. 排洪隧洞

§ 38. 排洪隧洞高程位置及其橫斷面尺寸的規定，應根據各方案技術經濟比較進行，務使其能在各種工作情況下及上下游部水位最不良配合的情況下，能保證規定的放水能量。

§ 39. 如隧洞工作條件在理論上成為無法計算的複雜程度時，對隧洞的設計應先作模型試驗，研究降水流運動的一般狀況及檢查放水能量，其目的是為了實現工程最好的水力及靜力的工作條件。

## Д. 施工隧洞

§ 40. 設計施工隧洞時應研究將來工程完成後利用其全部或一部作為水電站引水隧洞或排洪隧洞的可能性。

§ 41. 規定施工隧洞高程位置及其橫斷面尺寸，應根據各方案進行技術經濟比較，同時並計算上下游圍堰及其他與隧洞相連的工程造價。

依據水力計算結果容許逐段減小按跌水情況工作的施工隧洞高度。

§ 42. 如施工隧洞工作水力條件複雜至難以計算的程度時，可作水力模型研究。

## E. 裝置自由管道的隧洞

§ 43. 規定裝置自由管道的隧洞橫斷面尺寸，應決定於管道安裝及其保護的條件。

§ 44. 裝置自由管道的隧洞底面坡降應與管道之坡降相適應。

## 7. 材 料

§ 45. 水工隧洞之全長，照例應作混凝土，鋼筋混凝土，噴漿，鐵絲鋼噴漿，鋼料或各種耐久材料的襯砌層。

§ 46. 作為襯砌用的混凝土，應符合水工混凝土（蘇聯國家標準 4795-49—4801-49）和水工建築物混凝土及鋼筋混凝土結構的要求（蘇聯國家標準 4286-48）。

根據上述蘇聯國家標準，隧洞襯砌用的水工混凝土牌號規定如下：

無壓隧洞襯砌混凝土部分—110, B4; 140, B4; 170, B4; 200, B4; 250, B4; 以及 110, B4, M50; 140, B4, M50; 170, B4, M50; 200, B4, M50; 250, B4, M50;

無壓隧洞襯砌鋼筋混凝土部分—140, B4; 170, B4; 200, B4; 250, B4; 300, B4; 400, B4; 以及 140, B4; M50, 170, B4; M50; 200, B4; M50, 250, B4; M50, 300, B4; M50, 400, B4; M50.

根據隧洞內的水頭有壓隧洞襯砌混凝土部分—140, B4; 170, B4; 200, B4; 250, B4; 300, B4; 和 140, B8; 170, B8; 200, B8; 250, B8; 300, B8.

根據隧洞內的水頭有壓隧洞襯砌鋼筋混凝土部分——  
140, B4; 170, B4; 200, B4; 250, B4; 300, B4; 400, B4; 及 140, B8;  
170, B8; 200, B8; 250, B8; 300, B8; 400, B8。

無壓隧洞採用牌號為 400, B4; 及 400, B4, M50; 和有壓隧洞採用牌號為 400, B4; 及 400, B8 的混凝土，須具有相當的論據。

§ 47. 相互連接的襯砌層，其混凝土牌號差異不得超過兩級（按強度分）。

§ 48. 若地下水來流洶湧，以及在水中或岩層中含有鹽類和對襯砌層或壓入其後的漿液起破壞性作用的混合物時，應研究儘可能地採用：

a) 按照蘇聯國家標準 4796-49; [水工混凝土，水（介體）的侵蝕標準及徵象] 的特種成份混凝土和灰漿；

6) 隧洞區內的總排水溝及局部的排水溝；

b) 襯砌的防潮層。

§ 49. 為使各個襯砌段及環帶加筋，可按照蘇聯國家標準 380-50: [普通熱軋炭型鋼。等級和一般技術規範]，及固定標準 535-45: [普通熱軋炭型鋼。技術規範]，採用由牌號鋼 CT-3 和 CT-0 做成的彎曲硬鋼筋。

§ 50. 牌號為 CT-3 和 CT-2 (蘇聯國家標準 380-50) 的壓延鋼板可做隧洞金屬襯砌材料。

§ 51. 石襯砌只可用牌號不低於 400 的天然石料，在受嚴寒侵襲的無壓隧洞中，襯砌用的料石須具有耐寒性。

附註：四級隧洞的襯砌，可使用牌號為 550 的料石。

§ 52. 水工隧洞磚積襯砌只准例外地在三級或更低級隧洞中使用，其牌號不得小於 300，並須符合水電建設總局規