

A.K. 高 棣 娜 著

混凝土與鋼筋混凝土 鉸式涵洞

中央交通部公路總局譯

人民交通出版社

混凝土與鋼筋混凝土 鉸式涵洞

A. K. 高 棣 娜著

中央交通部公路總局譯

人民交通出版社

混凝土與鋼筋混凝土

鉸式涵洞

A.K. ГОДЫНА

ШАРНИРНЫЕ БЕТОННЫЕ

И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ

ТРУБЫ

ИЗДАТЕЛЬСТВО ДОРОЖНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

ГУШОСДОРА МВД СССР

МОСКВА 1952

本書根據蘇聯內務部公路總局道路出版社 1952 年莫斯科俄文版本譯出

蘭錫九 何德杰 黃京羣 程文學 譯

王乃仁 校

· 人民交通出版社 出版
(北京北兵馬司一號)

新華書店發行

北京市印刷一廠印刷

編者：符浩

全書：61000字★定價：平裝 4,000元
精裝 14,000元

1954年12月北京第一版★1954年12月北京第一次印刷

印數：1—3510冊

31"×43"★印張：2½張

(北京市書刊出版業營業許可證出字第〇〇六號)

本書闡明了一些小的新型人工構造物即混凝土與鋼筋
混凝土鉸式涵洞的設計、施工、試驗和使用的成果。

在敘述鉸式涵洞的計算、設計和施工原理之前，並有
對近代涵洞類型和涵洞構造新建著的簡明概述。

內容係用通俗的形式敘述，俾從事人工構造物設計、
施工和使用的一切工程技術人員均易於理解。

目 錄

緒 言	1
第一章 涵洞的近代類型及其設計原理	3
§ 1. 概論	3
§ 2. 涵洞上填土壓力	4
§ 3. 涵洞的基底和基礎	10
§ 4. 涵洞的近代構造	13
第二章 混凝土及鋼筋混凝土鉸式涵洞	19
§ 5. 鉸式涵洞的特性	19
§ 6. 路堤對涵洞的壓力	22
§ 7. 活載在涵洞上所生之壓力	23
§ 8. 鉸涵的計算	30
§ 9. 鉸涵的結構	34
§ 10. 鉸涵的基底	36
§ 11. 涵洞的鉸、接頭及外表面的防水層	40
§ 12. 涵洞回填土	41
§ 13. 在斜山坡上的鉸式涵洞	42
第三章 混凝土和鋼筋混凝土鉸式涵洞的實驗 工作	44
§ 14. 1947~1948年在埃里溫城地區進行的工作	44
§ 15. 1947~1948年在彼特羅扎沃德斯克城地區進行的 工作	48

§16.	1950~1951年在托史克城地區進行的工作	50
§17.	1951年在伏羅卡拉瑪斯卡城地區進行的工作	53
第四章	混凝土及鋼筋混凝土鉸涵施工和養護的經驗	55
§18.	一般資料	55
§19.	製備涵洞管節的基地	59
1.	澆築涵洞管節混凝土的模型	59
2.	製備鋼筋	61
3.	澆築管節混凝土及拆模型鈑	62
§20.	已製好管節的運送及就地鋪設	63
1.	運送已製好的管節	63
2.	準備基底及鋪設涵洞	65
3.	鋪設防水層	66
4.	填築涵洞附近的路堤	67
5.	河床及邊坡加固	68
第五章	鉸涵的技術經濟指標	68
§21.	技術經濟的比較	68
結 論		71
譯名對照表		73

緒 言

我們國家國民經濟的發展，要求公路和鐵路路線網最大的擴張和改建。

按照蘇聯在 1951~1955 年間五年的發展計劃，第十九次黨代表大會規定了公路和鐵路新建和改建的巨大範圍。

路堤下的涵洞是修建公路和鐵路時大量採用的小型人工構造物的一種形式。而直徑由 0.75 到 1.50 公尺的鋼筋混凝土圓涵洞則得到特別廣泛的應用。

國家設計院工業運輸設計公司於 1946~1952 年間在小型人工構造物領域中所進行的設計與實驗工作以及示範工程，指出了原有的混凝土和鋼筋混凝土涵洞類型，在很多方面尚需加以改進。

工業運輸設計公司所提出的鉸式涵洞甚至比不用基礎的鋼筋混凝土剛性涵洞都經濟得多。

近來，設計部門及科學研究部門都很注意探研小型人工構造物最合理類型的問題。

這樣的注意證明了此一問題的重要性。

直到現在，科學家和設計者們，在不改變已被採用涵洞種類的靜力圖式和結構形式的條件下，找尋途徑，使作用於涵洞上荷載的求法更加精確，並改進涵洞構造。

但是，鉸式涵洞設計和施工的經驗證明了路堤下涵洞還有改進型式和構造的其他方法。確定作用於涵洞上荷載與由於根本改變了涵洞靜力圖式對決定作用於涵洞牆上的力的新論據，以及涵洞新的結構原理，乃是設計鉸式涵洞的基礎。

改進小型人工構造物類型的這種方法，正如在其施工經驗中所指出的一樣，得出下列的結果：

1. 鉸式涵洞的設置可以不用基礎；
2. 鉸式涵洞的結構形式完全符合於工業建築原理；
3. 採用鋼筋混凝土鉸式管節，與舊式涵洞的鋼筋混凝土剛性管節

相比較，在水泥和鋼筋的消耗上可節省 50%；

4. 當水泥消耗量和剛性涵洞相同時，採用混凝土鉸式管節可以完全不用鋼筋。

鉸式涵洞近來已被採用於公路上，並已表現出它們自身的優越性。

但是，這些問題如：涵洞的靜力計算法，鉸和接頭的構造，以及設置涵洞處路堤壓實的方法等均尚需更進一步地明確和改進。

應當指出，鉸式涵洞的修建，要求謹慎的和細心的工作，每個生產過程都要精確和細緻地完成，特別要細心地、均勻地壓實土壤，以防止管節因超過容許尺寸而壓扁。

本書中所闡明的混凝土和鋼筋混凝土圓形截面的四鉸涵洞的計算、設計、施工、使用以及試驗研究等問題，將受到人工構造物的設計和施工的人們的熱烈歡迎。

本書中所談到的一切問題的評論能很正確地幫助處理這種涵洞的設計、施工和使用以及將鉸式體系利用於人工構造物的其他形式上。

第一章 涵洞的近代類型及其設計原理

§ 1. 概 論

公路和鐵路路堤下的涵洞係特種的工程構造物，它具有本質上和橋梁不同的自身的特殊工作條件。

例如，涵洞可位於任意高的路堤下而其構造實質幾乎不變。橋梁的形式和構造則與其高度和橋位處地質條件有很大的關係。

當路堤高度大於3~4公尺時，涵洞的主要荷載為路堤填土重量；而活載則較為次要。但相反地，橋梁的主要荷載則為活載。

按照構造物的使用條件，涵洞和橋梁也有顯著的不同，因為在裝設涵洞的地點路基和行車部分並未斷開，但在橋梁上則二者是斷開的，因此在橋梁和路基間須設特殊的接縫，並且橋梁範圍內的行車部分也須有特殊構造。

我們不能忽視作用於橋梁上部構造活載的直接影響，因此，不得不根據這種活載及其衝擊影響來計算橋梁。對於橋台，我們也不得不根據路堤主動土壓力和傳達於其上的活載值來計算。是的，目前已有完成了的橋梁實例，其中考慮到了橋台和路堤的相互作用，這樣就大大地減小了作用於橋台上的荷載數值和力的影響^①。

至於涵洞，則由混凝土和鋼筋混凝土鉸式涵洞的設計與施工的經驗證明，涵洞可以完全以自身的構造主動地與其周圍的土質發生相互作用，有利地為涵洞自身重新分配路堤重及活載所生的荷載。

目前修建永久式涵洞所採用的主要材料為石料、混凝土和鋼筋混凝土。石涵洞大多數是採用所謂卵形涵洞或帶垂直牆的拱形涵洞；混凝土涵洞已普遍推廣卵形式樣；鋼筋混凝土涵洞則廣泛採用卵形、矩

① 見H.A. 斯羅維斯基、E.A. 巴巴諾夫、Г.Т. 哥伯列依詩維里、Г.В. 羅比達詩維里等著的《用輕型橋台的小跨徑橋》道路出版社，1951年版。

形和圓形的構造。最近幾年來也曾出現了帶鋼筋混凝土平蓋版的石涵洞。近來不論是在公路上和鐵路上鋼筋混凝土圓涵洞都應用得最廣。

對於涵洞所提出的要求和對運輸綫上任何工程構造物所提出的要求一樣 即是：保證沿路綫運輸的安全；與路綫的使用期限及建築材料相適應的構造物的耐久性；最小的工程造價；最少的建造時間以及最後是能使構造物的養護簡便且養護費用很少。

創造能滿足所有這些要求的涵洞類型是非常迫切的問題，因為沒有一種現有的涵洞類型可以完全滿足所有這些要求。

爲了對涵洞設計的新建議得到正確的結論，必須對已有的構造物作批判的分析。

因此，我們研究路堤下近代的涵洞類型和它們的設計原理。

首先，讓我們談談求涵洞上路堤壓力的近代的方法。

§ 2. 涵洞上填土壓力

涵洞的絕大部分裝設在新修的路綫上，因此首先必須研究位於新填路堤下涵洞的計算方法。但是，在改建的路綫上有時也需要修建涵洞，有些地方要修建涵洞用以替換原有的涵洞，橋梁或溝渠。此外，安裝新涵洞時可有兩種情形：路堤不高時在基槽中安裝，高路堤時用坑道法、打通法或護板打通法安裝。

這樣，必須針對在地下安設涵洞的三種基本方法研究其計算方法：

1) 在新填路堤之下，2) 在基槽中，和 3) 在有穩定土壤的路堤之下。

傳達於涵洞上的荷載數值，與裝設涵洞的方法很有關係。

路堤下涵洞處於沿涵洞橫向力及縱向力的作用下；同時這些力的數值根據裝設涵洞的方法，以及涵洞類型，基底的構造和形式而定。

決定作用於涵洞上力的方法很多，我們研究近代方法中最有代表性的幾種。

1. 交通部 ТУПМ-47 建議的方法

按照蘇聯交通部的技術規範，當跨徑在 8 公尺以下時，對涵洞的

路堤壓力不考慮由位於涵洞上方全部土柱所產生的壓力，而只考慮包於半橢圓形內土重所產生的土壓力，此橢圓形的水平軸等於拱涵跨徑與拱矢兩倍之和，而其半垂直軸則根據涵洞跨徑數值採用之（圖 1）。

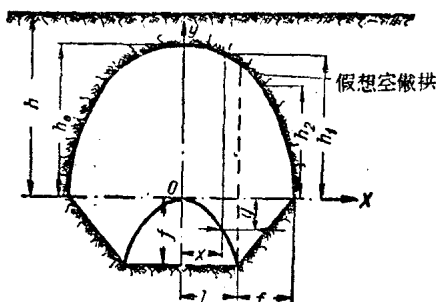


圖 1. 按照交通部技術規範涵洞上路堤的壓力圖

垂直壓力強度用下式計算：

$$P_1 = (h_1 + y)\gamma_0$$

水平壓力強度：

$$E_1 = \gamma(h_2 + y) \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right),$$

式中： h_1 及 h_2 ——橢圓形荷載的縱距，根據下式計算：

$$h_1 = h_0 \sqrt{1 - \frac{x^2}{(l+f)^2}}; \quad h_2 = \frac{\pi}{4} h_0.$$

在這種方法中，假設在涵洞上方的路堤中形成自然拱或空做拱，這種假設係礦山坑道的特點，而在新填路堤下裝設涵洞時則不可能發生。

實際上，在很深的礦層中進行礦山坑道工程時，並非位於其上的全部岩層壓力都傳達於加固工程上，而只有在空做拱曲線範圍內的一部分岩層壓力傳達於其上。在坑道的兩側也破壞了岩層的平衡，並在支承上發生側向壓力。

形成空做拱的物理現象已被試驗所證實；現象的數學方面已由 M.M. 普羅托紀亞科諾夫教授研究出來，並在目前也應用於採礦事業中。

當在新填路堤下裝設涵洞時，則有性質完全不同的現象。

在涵洞裝設之後，分層填築的路堤會逐漸增加作用於涵洞上的垂直壓力和水平壓力。

在涵洞上方路堤中自然拱開始形成的時刻很難想像，就像此拱形成時的物理現象的難於想像一樣。

但是很明顯地，有這種形成自然拱的現象是可以想像得到的。

由於像涵洞形式的剛性體包含在路堤體內，在路堤填築後，涵洞所在地和與其相鄰的路堤沉落情況是不同的。堅硬的涵洞較其鄰近土質的屈服性差，因此連涵洞包括在內的土柱沉落會較鄰近填土部分的沉落為小。結果，在位於涵洞上方土柱和周圍填土之間，產生摩阻力 $F-F$ （圖 2），而此摩阻力增加了涵洞上的壓力。

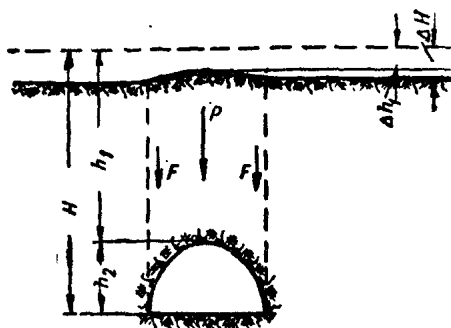


圖 2 路堤對涵洞的實際壓力圖

在道路修建後，常常首先可以看到在涵洞上方形成路堤凸起的表面；這樣就確實肯定了上述現象。

結果，我們得到如下的結論：新填路堤作用於剛性涵洞上的壓力決不會較位於其上的土柱重量還小。

因此，交通部技術規範對新鋪路堤下涵洞所提出的決定涵洞上壓力的方法，不能認為是切合實際的方法。

2. «引出荷載»法

這種方法係根據位於涵洞上方土壤與槽壁或路堤兩側填土間摩阻力對涵洞承受的荷載值的影響的正確論據而建立。但是這種方法在數學方面則建立在不完備的試驗資料上。

為了證實這一點可作如下的論證：

按照這種方法，作用於涵洞上的計算荷載化為兩種等值集中荷載

P_{np} ，此荷載代表涵洞特別假定的破壞荷載，並按下式決定它：

$$P_{np} = mP,$$

式中： P ——總荷載；

m ——係數係表示涵洞在自然情況下的破壞荷載和按照兩個方向作用於涵洞上破壞涵洞的荷載之比。

係數 m 可由根據直徑為 1118 公厘和長 0.61~1.22 公尺的鋼筋混凝土涵管，缸瓦管及鑄鐵管試驗所製成的圖表中查得①。

這樣，我們看出在求計算荷載公式中的主要數值是採用數目字係數，其數值係在預先指定的情況下，只用一種相同直徑的涵洞試驗求得。

由於我們有時利用所指出的圖表，應當說，如果對編造這種圖表的試驗資料未作檢查也未擴大這些試驗時，則不一定在計算涵洞的一切情況下都能使用這些圖表，而且藉此種經驗係數按照「引出荷載」法來計算，也未必够得上稱為方法。

3. 技術科學學士 Г. К. 克列恩所提出的方法②

分析 Г. К. 克列恩書中所舉的材料和他所作的結論指出，位於地下涵洞的計算問題，已由蘇聯學者和工程師們正確的提出和決定，但是結果均未得到解答。

在該書的結論中，Г. К. 克列恩介紹了計算涵洞實際應用的一系列公式。

裝設於基槽中的涵洞上填土垂直壓力建議按照 П. М. 葉美利雅諾夫教授公式決定。

$$G_B = K_T \gamma_B H_B,$$

式中： G_B ——涵洞上填土垂直壓力；

γ_B ——土壤體積重；

① 參閱《混凝土及鋼筋混凝土涵洞的製造、計算和試驗》論文集，科學技術聯合出版社 1938 年版。

② Г. К. 克列恩著《地下管的計算》，建築出版社，1951 年版。

H ——涵洞上方填土高度；

B ——基槽寬度；

K_T ——荷載強度係數，根據基槽尺寸與填土物理特性而定。

上述公式建議在墊座壓實不好的情況下採用。

在填土壓實良好的情況下，建議將上述公式加以修正，即考慮基槽寬度與涵洞外徑 D_1 間的差數：

$$G_B = K_T \gamma_s H \frac{B + D_1}{2}。$$

上述兩公式具有其理論的根據，但對墊座的壓實程度的標準則很不肯定。

決定「不好的」或「好的」填料，要用某種具體的物理指標來代替，再加按第一式和按第二式的計算荷載數值有很大的差別。

安裝於路堤內的涵洞上方土壤垂直壓力建議按照 H.M. 維諾格拉多夫工程師公式計算它：

$$G_B = K_H \gamma_s H D_1，$$

式中： G_B ——涵洞上垂直壓力；

γ_s ——土壤體積重；

H ——涵洞上填土總高度；

D_1 ——涵洞直徑；

K_H ——壓力強度係數。

這些公式的簡單性是吸引人的，因此，我們詳盡地談談這種方法的特性。

當認為馬爾斯東[理論]中所採用的在路堤填土中涵洞所在地所發生的現象品質方面是正確時，H.M. 維諾格拉多夫對這種[理論]的數學方面作了批判。

他曾十分正確地指出，馬爾斯東[理論]是虛偽的科學，因為在他的數學理論中列入完全任意的函數，以達到使計算結果適合於所進行實驗的結果的目的。

並且認為計算路堤下涵洞還沒有完全正確和可靠的方法時，H.M.

維諾格拉多夫建議利用「壓力強度係數」—— K_H ，其值列於他所製的表中。

K_H 的表列數值，係用相當於公路總局及工業運輸設計公司的標準設計涵洞支承強度的最大容許荷載，和該涵洞上方填土土柱重相比較而求得。

由於所指種類的涵洞，在自然界中安全的存在，作者指出他所推薦的係數 K_H 值，在保證涵洞強度的方面，可以認為是足夠的，但其可能超過的程度則未加以陳述。

這樣，第一眼看來好像是吸引人的，求作用於路堤內涵洞上填土壓力的 H.M. 維諾格拉多夫工程師公式對涵洞計算並沒有給出十分有價值的解答。

由於研究了上述決定涵洞上填土垂直壓力的方法的結果，可以作出下列各結論：

裝設於新填路堤下的涵洞

今後在有科學根據的方法建立之前，很明顯地應該利用蘇聯內務部公路總局技術規範要求計算涵洞上方填土總重的指示。

同時，必須指出，被蘇聯學者們創立起來的關於土壤力學近代的科學狀況，和我們科學研究所實驗基礎的力量完全能夠解決決定路堤對涵洞壓力的問題。我們必須全面地研究這個問題。

裝設於基槽中的涵洞

這時可以按照 Г.К. 克列恩的建議採用 П.М. 葉美利雅諾夫教授有適當根據的公式。

裝設於穩定路堤下的涵洞

此時利用 М.М. 普羅托紀亞科諾夫教授的理論較為恰當。

同時必須指出，直到現在還沒有決定沿涵洞方向作用力和其基礎沉落的方法，這些方法則是在新填路堤下裝設涵洞的普通計算中所不能避免的部分。

§ 3. 涵洞的基底和基礎

研究原有的涵洞類型時，很容易相信，對涵洞目前仍舊是很廣泛地採用大體積的基礎。也常常修建黏土混凝土，碎石的或砂子的墊層，並且只有按照國家設計院工業運輸設計公司的設計，在良好地質情況下，正確地採用無基礎的鋼筋混凝土圓涵洞，也就是說，直接裝設於天然基底之上。

並不難相信，涵洞基礎的類型要根據下列各條件而定：涵洞孔徑的大小；基底土壤種類；土壤冰凍深度。此外端牆下方基礎永遠設於完全冰凍深度以下，但管節下方基礎則在 1.0~0.7 公尺的變化範圍內且為端牆基礎設置深度之 0.7。黏土混凝土的，碎石的或砂的墊層的厚度，通常採用 0.4~0.5 公尺。

讓我們研究一下上面指出的條件可以用作選擇基礎某一類型的依據到什麼程度：1) 涵洞孔徑的大小；2) 涵洞基底土壤的支承力；3) 涵洞基底土壤冰凍深度。

涵洞孔徑大小

涵洞孔徑決定基礎的厚度，例如，拱式石涵洞。它們的基礎高度根據其在基底土壤壓力反力作用下受彎工作條件而定。

如所周知，拱式石涵洞總是按照橋梁設計原理進行設計，並視拱圈為上部構造而洞牆為橋台，且不考慮涵洞和路堤的交互作用，因此而得出在任何孔徑和任何種類基礎的（連續的或分開的）石涵洞中基礎砌置體積超過洞牆和拱圈砌置體積的總和。顯然地，用這種基礎的設計原理是不能贊同的。

改變石涵洞的設計原理是有可能的，使石砌構造物主動地與其周圍土壤交互作用，這樣就可以避免修建大體積基礎的巨大消耗。這樣一來，當更合理的設計時，必須放棄將涵洞基礎砌到根據涵洞孔徑而決定的深度處。

基底土壤支承力

涵洞標準設計大部分是按照土壤支承力將其分為三類：中等的、

密實的和岩石的土壤。

根據這種分類，基礎類別也相應地分為：大體積的，碎石或砂子的墊層，但對岩石土壤則只用混凝土的找平層。

在這方面國家設計院工業運輸設計公司鋼筋混凝土圓涵洞的標準設計規定更詳細的土壤類別和更多樣的涵洞基礎種類。

在國家設計院工業運輸設計公司的設計中曾指出路堤下涵洞的砌置方法根據下列條件進行選擇：

- 1) 涵洞下土壤支承力；
- 2) 挖去植物層的厚度及已整理斷面地床保有的土壤支承力；
- 3) 基底土壤形成翻漿的或然率。

同樣，涵洞下土壤所受壓力根據下列條件而定：

- a) 涵洞上填土高度；
- b) 涵洞裝設方法（直接裝設於地床上或設於混凝土洞底上）；
-) 路堤下涵洞在一般土壤表面上凸出之數值。
- r) 基底土壤的種類。

我們認為所有標準設計的主要缺點是未根據路基基底研究涵洞的基底。

十分明顯地，涵洞所在地路堤基底沉落的傳佈深度大大地超過涵洞基礎的設置深度（圖3）。

涵洞基礎，落到路堤基底沉落擴散地區內時，應奠基於此區之下，因此，想用修建基礎的方法減少涵洞的沉落是不能達到目的的。

當涵洞自身的下方地層土壤較相鄰路堤部分下土壤為軟時，為了防止局部沉落，應當時常用較好土壤替換涵洞基底所在地的軟土。

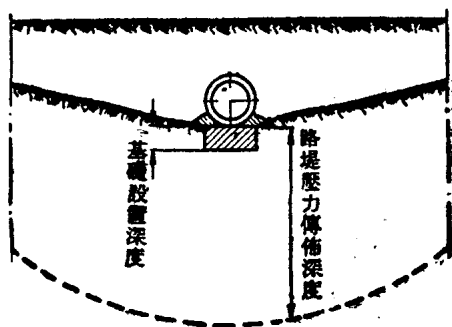


圖3 路堤作用於基底上的壓力傳佈圖

所以，根據第二種情況設計涵洞基礎，在目前還不能認為是完全切合實際的。

涵洞基底土壤冰凍深度

在涵洞的設計與施工的實踐中大都將端牆基礎設置於冰凍深度以下，但管節下方基礎設置深度則為此值之 0.7，並且這深度有時和基底中土壤翻漿性有關，但有時則無關。

假如橋梁墩台周圍或至少其三面的土壤表面為露天的且易受冰凍時，則在涵洞中冰凍的現象顯著不同。由於涵洞基底被路堤和端牆積雪護住，以及由於涵洞周圍緊壓的土壤，故低溫對涵洞下土壤的影響不大。最後，很容易用人工防止涵洞下基底的冰凍。

從涵洞實際使用中得知，在冬季用護板或抹以黏土的籬笆封閉涵洞，不僅使其免於被雪充滿且可不至於冰凍。

因此，涵洞自身下土壤冰凍的危險，實際上是不存在的。

至於端牆基礎，即使在翻漿土壤的情況下，只門框式端牆基礎應該設置於冰凍深度之下，因為它同時也可以作為防止滲透的圍屏。在端牆其他部分及靠近端牆的一小段涵洞，顯然是應在土壤冰凍深度處鋪砌砂墊層以代替基礎。但在涵洞其餘各部分則只作深 40~50 公分的同樣墊層。

在不翻漿土壤中，應當僅在門框式端牆之下設置基礎或做深 1~1.2 公尺的防止滲透的加深基脚。

所以，由於土壤冰凍條件，涵洞要設置大體積基礎的說法不能認為是有足夠的理由的。

在我國，在涵洞設計和修建的實踐中，得到較進步的解答。

假如，修建無基礎的裝配式矩形涵洞以代替在整體基礎上的大體積矩形涵洞。

為了防止涵洞基底沉落或防止土壤冰凍的目的，修建砂墊層以代替大體積基礎。

目前我們放棄了設計涵洞基底和基礎的舊設計原則，並推廣了涵洞先進的設計和施工經驗。